

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования



КГЭУ

«КАЗАНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

ПРОРЕКТОР
ПО НАУКЕ И КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ

Красносельская ул., д. 51, Казань, 420066
тел./факс (8-843) 519-43-01
E-mail: ivshin.iv@kgeu.ru

11.03.2024 № 200-ДЗ/944

На № _____ от _____

О направлении
информации

Уважаемый Юрий Александрович!

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет» направляет Вам отзыв ведущей организации на диссертацию Коровайцевой Екатерины Анатольевны на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твёрдого тела».

Приложение: Отзыв ведущей организации на 6 л. в 2 экз.

Проректор по науке и
коммерциализации Федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения
высшего образования «Казанский
государственный энергетический
университет», д.т.н., профессор



И.В. Ившин

И.В. Ившин

Гимадиев Равиль Шамсутдинович,
+7 (917) 859-89-75

Вх. № 01-1518
« 20 » 03 2024 г.
Кол-во листов док-та 7
Приложения 6

Равиль

И.о. проректора по научной работе
ФГБОУ ВО «Московский авиационный
институт (национальный
исследовательский университет)»,
д.т.н., профессору
Равиковичу Ю.А.
Ученый совет МАИ, 125993, г. Москва,
А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4

Аннотация Г.А.
[Signature]
21.03.24

«УТВЕРЖДАЮ»



Проректор по науке и коммерциализации
ФГБОУ ВО «Казанский государственный
энергетический университет»

д.т.н., профессор  Ившин И.В.

ОТЗЫВ

ведущей организации ФГБОУ ВО «КГЭУ» на диссертационную работу
Коровайцевой Екатерины Анатольевны на тему «Моделирование процессов
деформирования тонкостенных оболочек вращения из гиперупругих
материалов», представленную на соискание ученой степени доктора физико-
математических наук по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого
твердого тела»

В настоящее время область применения оболочечных конструкций из гиперупругих материалов существенно расширяется. Появляются новые технические устройства, эксплуатация которых сопровождается произвольными перемещениями и деформациями их элементов. Среди таких устройств можно отметить мягкую робототехнику, протезы внутренних органов, элементы гибкой электроники и т.д. Проектирование подобных конструкций и элементов приборов связано с необходимостью их численного моделирования в условиях неограниченных упругих перемещений и деформаций. Таким образом, несомненны актуальность и обоснованность темы диссертации Е.А. Коровайцевой, целью которой является моделирование процессов статического и динамического деформирования тонкостенных оболочек вращения из гиперупругих материалов при произвольных перемещениях и деформациях.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов и списка литературы. Общий объем работы составляет 290 страниц машинописного

текста, включая 169 рисунков, 13 таблиц, список цитированной литературы из 219 наименований.

Во введении на основе обзора работ по развитию исследований поведения оболочек при больших перемещениях и деформациях сформулировано определение мягкой оболочки, используемое в работе. Обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель, охарактеризованы научная новизна, практическая значимость, методы исследования и достоверность результатов, представлены положения, выносимые на защиту, а также приведено содержание работы по главам.

В первой главе диссертации проводится обзор существующих в настоящее время методов исследования статического и динамического поведения тонкостенных оболочек вращения из гиперупругих материалов при больших перемещениях и деформациях. Особое внимание уделено различным теориям и системам уравнений, используемым при расчетах деформирования мягких оболочек.

Во второй главе диссертационной работы формулируются системы уравнений статического и динамического деформирования тонкостенных оболочек вращения из нелинейно упругих материалов при больших перемещениях и деформациях, используемые в последующем автором при разработке вычислительных алгоритмов и решении задач. Уравнения основаны на предположении о безмоментности напряженного состояния оболочек.

В третьей главе диссертации представлена систематизация одномерных линейных и нелинейных краевых задач деформирования тонкостенных конструкций, позволяющая свести многообразие постановок задач рассматриваемого в работе класса к двум записываемым в векторно-матричной форме формулировкам.

В четвертой главе диссертационной работы представлен алгоритм решения задач осесимметричного статического деформирования оболочек вращения из гиперупругих материалов при больших деформациях, описаны

особенности его использования и предложены способы контроля точности и однозначности решения задач как этапы разработанного алгоритма. Предложен подход к теоретическому исследованию особенностей закритического поведения цилиндрической оболочки из гиперупругого материала. Приведено сравнение результатов решения задачи о раздувании цилиндрической оболочки кусочно-постоянной толщины из гиперупругого материала, полученных на основании использования авторских разрешающих соотношений и уравнений моментной теории оболочек. Представлена методика параметрического анализа деформирования оболочек рассматриваемого класса.

В пятой главе диссертации описан алгоритм решения задач осесимметричного динамического деформирования оболочек вращения из гиперупругих материалов при больших деформациях. Решены задачи о нагружении сферической и цилиндрической оболочки из гиперупругих материалов различных типов при различных зависимостях внешней нагрузки от времени. Теоретически получено явление динамического хлопка сферической оболочки из высокоэластичного материала, а также продемонстрировано использование уравнений моментной теории оболочек для решения задачи раздувания цилиндрической оболочки из неогукковского материала гармонически изменяющимся давлением.

В заключении приведены основные научные результаты диссертационной работы. Наиболее существенные новые результаты, полученные в работе, заключаются в следующем: **1.** Сформулирована замкнутая система разрешающих уравнений, описывающих поведение тонкостенных оболочек вращения из гиперупругих материалов при произвольных деформациях и применимая для любых формы меридиана оболочки, вида упругого потенциала материала, условий нагружения и закрепления; **2.** Предложена систематизация нелинейных краевых задач механики тонкостенных конструкций, позволяющая свести многообразие постановок таких задач, формулируемых для случая произвольных

перемещений и деформаций, лишь к двум каноническим формам, благодаря чему сокращается число требующих разработки алгоритмов их решения; **3.** Исследованы особенности реализации разработанных численных алгоритмов и предложены способы повышения точности решения и контроля однозначности продолжения решения нелинейной краевой задачи, что является крайне важным в связи с применением алгоритмов к исследованию поведения оболочек при произвольных перемещениях и деформациях; **4.** Предложен теоретический подход к исследованию особенностей закритического поведения равномерно раздуваемой цилиндрической оболочки из гиперупругого материала, связанных с переходом однородного напряженно-деформированного состояния, в неоднородное; **5.** Для исследования как статического, так и динамического поведения оболочек из гиперупругих материалов впервые использованы соотношения моментной теории оболочек; **6.** При решении задач динамического раздувания тонкостенных оболочек вращения из гиперупругих материалов установлена возможность реализации динамического хлопка при линейной зависимости внутреннего давления от времени, а также исследована задача о воздействии гармонически изменяющегося давления на цилиндрическую оболочку как начально-краевая по соотношениям безмоментной и моментной теорий.

Практическая ценность работы заключается в создании завершеного алгоритмического и программного обеспечения для решения физически и геометрически нелинейных задач осесимметричного статического и динамического деформирования тонкостенных оболочек вращения из гиперупругих материалов при произвольных перемещениях и деформациях. Все положения, выносимые на защиту, научно обоснованы и подтверждены сравнением в частных случаях с аналитическими решениями задач либо численными экспериментами различных типов (сравнение с расчетами по другой системе уравнений, анализ сходимости, использование предложенных в

работе методов повышения точности решения и контроля однозначности его продолжения по параметру).

Имеются некоторые замечания, не влияющие на целостность работы:

1. Было бы интересно экспериментально исследовать поведение сферической оболочки из гиперупругого материала, раздуваемой линейно возрастающим во времени давлением, и сравнить экспериментально и численно полученные результаты.

2. Разработанные алгоритмы решения задач деформирования оболочек вращения из гиперупругих материалов предполагают возможность их применения к исследованию поведения составных оболочек, однако в работе рассмотрены лишь оболочки однородной формы меридиана

3. Имеется ряд редакционных замечаний.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации.

Работа выполнена на высоком научном уровне и хорошо оформлена. Автореферат достаточно полно и точно отражает ее содержание. Основные результаты опубликованы в 7 статьях, размещенных в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, в 5 статьях в изданиях из списков Web of Science или Scopus, в 2 статьях в сборниках и 15 тезисах докладов. Автор работы имеет 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, реализующих сформулированные в диссертации алгоритмы.

Заключение. Диссертационная работа Е.А. Коровайцевой является самостоятельной, завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная проблема расчета тонкостенных оболочечных конструкций из гиперупругих материалов для случая произвольной физической и геометрической нелинейности. Решение данной проблемы имеет важное значение для ряда современных приборостроительных отраслей промышленности. Диссертация соответствует требованиям п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Коровайцева Екатерина

Анатолевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела».

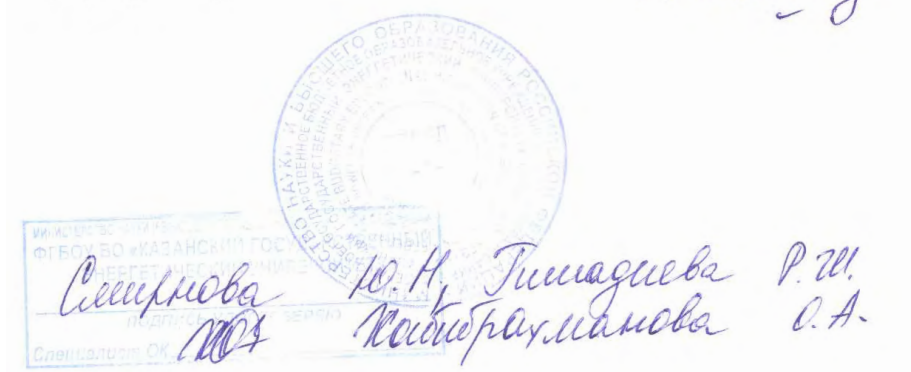
Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден и одобрен на заседании кафедры «Цифровые системы и модели» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», протокол № 2 от 06.03.2024.

Заведующий кафедрой
«Цифровые системы и модели»
ФГБОУ ВО «Казанский
государственный
энергетический университет»
к. ф-м. н, доцент

Ю.Н. Смирнов

Профессор кафедры «Цифровые
системы и модели» ФГБОУ ВО
«Казанский государственный
энергетический университет»
д.т.н., профессор

Р.Ш. Гимадиев



С отзывом ознакомлена 26.03.24.